

Beam shaping and projection imaging with solid state UV gaussian beam to form vias

Patent number: CN1351529
Publication date: 2002-05-29
Inventor: DUNSKY C M (US); LIU X (US); CROGLIO N J (US)
Applicant: ELECTRO SCIENT IND INC (US)
Classification:
- international: **G02B27/09; B23K26/00; B23K26/06; B23K26/073; B23K26/38; H01S3/00; H05K3/00; H05K3/46; B23K101/42; H01L21/48; H01L21/768; H05K3/42; G02B27/09; B23K26/00; B23K26/06; H01S3/00; H05K3/00; H05K3/46; H01L21/02; H01L21/70; H05K3/42; (IPC1-7): B23K26/06**
- european: **B23K26/06F; B23K26/073B; B23K26/38B; B23K26/38B4; H05K3/00K3L4C**
Application number: CN20008007911 20000526
Priority number(s): US19990136568P 19990528; US20000175098P 20000107; US20000193668P 20000331

Also published as:

WO0073013 (A1)
EP1187698 (A1)
EP1187698 (A0)
CA2373565 (A1)
EP1187698 (B1)

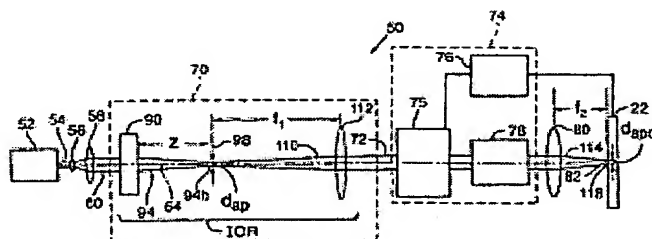
more >>

[Report a data error here](#)

Abstract not available for CN1351529

Abstract of correspondent: **WO0073013**

A diode-pumped, solid-state laser (52) of a laser system (50) provides ultraviolet Gaussian output (54) that is converted by a diffractive optical element (90) into shaped output (94) having a uniform irradiance profile. A high percentage of the shaped output (94) is focused through an aperture of a mask (98) to provide imaged shaped output (118). The laser system (50) facilitates a method for increasing the throughput of a via drilling process over that available with an analogous clipped Gaussian laser system. This method is particularly advantageous for drilling blind vias (20b) that have better edge, bottom, and taper qualities than those produced by a clipped Gaussian laser system. An alternative laser system (150) employs a pair of beam diverting galvanometer mirrors (152, 154) that directs the Gaussian output around a shaped imaging system (70) that includes a diffractive optical element (90) and a mask (98). Laser system (150) provides a user with the option of using either a Gaussian output or an imaged shaped output (118).



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 00807911.0

[43] 公开日 2002 年 5 月 29 日

[11] 公开号 CN 1351529A

[22] 申请日 2000.5.26 [21] 申请号 00807911.0

[30] 优先权

[32] 1999.5.28 [33] US [31] 60/136,568

[32] 2000.1.7 [33] US [31] 60/175,098

[32] 2000.3.31 [33] US [31] 60/193,668

[86] 国际申请 PCT/US00/14816 2000.5.26

[87] 国际公布 WO00/73013 英 2000.12.7

[85] 进入国家阶段日期 2001.11.22

[71] 申请人 电子科学工业公司

地址 美国俄勒冈州

[72] 发明人 C·M·丹斯基 X·刘

N·J·克罗利奥 H·W·罗

B·C·冈德拉姆 H·马特萨毛托

[74] 专利代理机构 北京纪凯知识产权代理有限公司

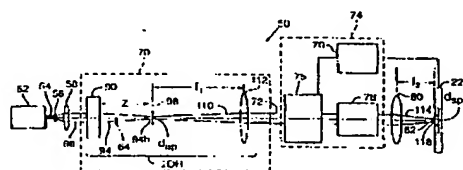
代理人 赵蓉民 彭益群

权利要求书 7 页 说明书 20 页 附图页数 14 页

[54] 发明名称 采用固态紫外高斯激光束成孔的波束成形和投射成像

[57] 摘要

采用激光系统(50)中的一种二极管注入泵式固态激光器(52)来提供紫外波的高斯输出(54),该输出经一光学衍射组件(90)转换成照度轮廓一致的成形输出(94)。高比例的成形输出(94)经聚焦穿过掩膜(98)的孔眼以提供成像成形输出(118)。该激光系统(50)有助于将该方法的打孔能力提高到比类似的剪切高斯激光系统的打孔能力还高的水平。本发明特别适于打取盲孔(20b),并且该盲孔的孔边、孔底以及锥度的质量高于剪切高斯激光系统打取的盲孔。另一种激光系统(150)采用一对波束转向检流镜(152、154)其可使高斯输出绕过包含光学衍射组件(90)和掩膜(98)的成形成像系统(70)。激光系统(150)为用户在高斯输出或成像成形输出(118)之间提供了一种选择。



权 利 要 求 书

1、 一种用来提高在多层工件上打孔能力的方法，其中该多层工件至少包括分别由第一层材料和第二层材料构成的第一层和第二层，并且第一层材料和第二层材料分别具有不同的第一、第二烧蚀通量阈值，该方法包括：

生成第一高斯激光输出，该第一高斯激光输出具有第一高斯能量和波长小于 400nm 的、基本上为高斯曲线的照度轮廓；

使第一高斯激光输出沿着一条光路穿过一个光学衍射组件从而将第一高斯激光输出转换成更为均匀一致的第一成形输出；

使该均匀的第一成形输出的主要部分穿过一个孔眼从而将均匀的第一成形输出转换成第一过孔成形输出，该第一过孔成形输出具有第一过孔成形能量，其能量值大于第一高斯激光输出的第一高斯能量的 50%；

将第一过孔成形输出穿过一个或多个成像透镜组件以提供第一成像成形输出；

将第一成像成形输出加到工件的靶位上去以去掉靶位内的第一层材料从而形成孔，该第一成像成形输出在一个第一点域上具有第一能量密度，并且该第一能量密度大于第一烧蚀通量阈值但小于第二烧蚀通量阈值。

2、 如权利要求 1 的方法，其中该孔具有最小直径 d_{\min} 和最大直径 d_{\max} ，并且圆度大于 0.9，这里圆度为 d_{\min}/d_{\max} 。

3、 如权利要求 2 的方法，其中该孔的圆度大于 0.95。

4、 如权利要求 1 的方法，其中该孔具有底径 d_b 、顶径 d_t ，并且锥度比大于 0.5，这里锥度比为 d_b/d_t 。

5、 如权利要求 1 的方法，其中该孔的锥度比大于 0.75。

6、 如权利要求 1 的方法，其中第一过孔成形能量大于第一高斯能量的 65%。

7、 如权利要求 6 的方法，其中第一过孔成形能量大于第一高斯激光能量的 75%。

8、 如权利要求 1 的方法，其中第一成像成形能量大于第一高斯能量的 45%。

9、 如权利要求 8 的方法，其中第一成像成形能量大于第一高斯激光能量的 55%。

10、 如权利要求 1 的方法，其中第一能量密度小于或等于约 $2\text{J} / \text{cm}^2$ 。

11、 如权利要求 1 的方法，其中该波长约为 355nm 或 266nm。

12、 如权利要求 1 的方法，其中第一层材料包括绝缘材料，第二层材料包括金属。

13、 如权利要求 12 的方法，其中绝缘材料包括有机绝缘材料，金属则包括铜。

14、 如权利要求 13 的方法，其中有机绝缘材料包括一种无机强化材料。

15、 如权利要求 1 的方法，进一步包括：通过冲孔将第一层材料去掉。

16、 如权利要求 1 的方法，进一步包括：通过非冲孔的方法将第一层材料去掉。

17、 如权利要求 1 的方法，其中第一层材料位于由第二层材料构成的两层之间，该方法在生成第一高斯激光输出之前进一步包括：

生成第二高斯激光输出，该第二高斯激光输出具有第二高斯能量和波长小于 400nm 的、基本上为高斯曲线的照度轮廓；

使第二高斯激光输出沿着该光路穿过该光学衍射组件从而将第二高斯激光输出转换成更为均匀一致的第二成形输出；

使该均匀的第二成形输出的主要部分穿过该孔眼从而将均匀的第二成形输出转换成一个第二过孔成形输出，该第二过孔成形输出具有第二过孔成形能量，其能量值大于第二高斯激光输出的第二高斯能量的 50%；

将第二过孔成形输出穿过一个或多个成像透镜组件以提供第二成像成形输出；

将第二成像成形输出加到工件的靶位上去掉靶位内的第二层材料，该第二成像成形输出在该点域上具有一个第二能量密度，并且该第二能量密度大于第二烧蚀通量阈值从而将第二层材料去掉。

18、 如权利要求 17 的方法，其中第二能量密度大于或等于约 $10\text{J} / \text{cm}^2$ 。

19、 如权利要求 17 的方法，进一步包括：

以一个第二脉冲重复频率生成第二高斯激光输出；以及

以高于第二脉冲重复频率的第一脉冲重复频率生成第一高斯激光输出。

20、 如权利要求 17 的方法，进一步包括：

将第二和第一成像成形输出按顺序导向一个第一靶位从而形成一个第一孔；以及

将第二和第一成像成形输出按顺序导向一个第二靶位从而形成一个第二孔。

21、 如权利要求 17 的方法，进一步包括：

将第二成像成形输出导向一个第一靶位从而将第二层材料去掉；
将第二成像成形输出导向一个第二靶位从而将第二层材料去掉；
然后将第一成像成形输出导向一个第一靶位从而将第一层材料去掉；以及
将第一成像成形输出导向一个第二靶位从而将第一层材料去掉。

22、如权利要求 17 的方法，进一步包括：
通过非冲孔的方法将第二层材料去掉；以及
通过冲孔将第一层材料去掉。

23、如权利要求 17 的方法，进一步包括：
通过非冲孔的方法将第二和第一层材料去掉。

24、如权利要求 17 的方法，其中第一高斯能量不同于第二高斯能量。

25、如权利要求 17 的方法，其中第二过孔成形能量大于第一高斯能量的 65%。

26、如权利要求 25 的方法，其中第二过孔成形能量大于第一高斯激光能量的 75%。

27、如权利要求 17 的方法，其中第二成像成形能量大于第一高斯能量的 45%。

28、如权利要求 1 的方法，其中第一层材料位于由第二层材料构成的两层之间，该方法在生成第一高斯激光输出之前进一步包括：

生成第二高斯激光输出，该第二高斯激光输出具有第二高斯能量和波长小于 400nm 的、基本上为高斯曲线的照度轮廓；

使第二高斯激光输出沿着一条避开光学衍射组件和孔眼的第二光路前进；

将第二高斯激光输出加到工件的靶位上以去掉靶位内的第二层材料，该第二高斯输出在该点域上具有一个第二能量密度，并且该第二能量密度大于第二烧蚀通量阈值从而将第二层材料去掉；以及
从第二条光路变到该光路上以便提供成像成形输出。

29、如权利要求 28 的方法，进一步包括：
以一个第二脉冲重复频率生成第二高斯激光输出；以及
以高于第二脉冲重复频率的一个第一脉冲重复频率生成第一高斯激光输出。

30、如权利要求 28 的方法，进一步包括：
通过非冲孔的方法将第二层材料去掉；以及
通过冲孔将第一层材料去掉。

31、一种激光系统包括：
一种二极管注入泵式的固态激光器，其用来沿着一条光路生成具有高斯能量的紫外高斯激光输出；

沿着光路布置的一个光学衍射组件，其用来将高斯激光输出转换成成形输出，该成形输出的中心照度轮廓具有高且均匀的密度，外周照度轮廓则具有很低的密度；

沿着光路布置的一个孔眼，其用来将成形输出外周照度轮廓的主要部分剪切掉并使高斯能量的至少 50% 穿过该孔眼从而形成具有过孔成形能量的过孔成形输出；

一个或多个成像透镜组件，其用来将过孔成形输出转换为成像成形输出；以及

一定位系统，其用来将成像成形输出导向一个工件靶位从而形成孔。

32、如权利要求 31 的激光系统，进一步包括：

沿着该光路布置的一对波束导向镜，作为选择光学衍射组件和孔眼可放在波束导向镜之间，这对波束导向镜用来将高斯激光输出转向

另一条光路，该光路避开了光学衍射组件和孔眼，这样波束定位系统将高斯输出导向工件。

33、如权利要求 31 的激光系统，其中的光学衍射组件为一个第一光学衍射组件，该孔眼为具有第一尺寸的第一孔眼，并且该第一光学衍射组件和第一孔眼在工件的一个第一点域上共同形成一个基本均匀一致的第一能量密度。

34、如权利要求 33 的激光系统，其中第一光学衍射组件和第一孔眼能够移动，并且能被一个第二光学衍射组件和一个第二孔眼替换，该第二光学衍射组件和第二孔眼在工件的一个第二点域上共同形成一个基本均匀一致的第二能量密度。

35、如权利要求 33 的激光系统，其进一步包括：

一个可移动的第一成像光轨，该光轨将第一光学衍射组件和第一孔眼集合在一起，该第一成像光轨能由一个具有一个第二光学衍射组件和一个第二孔眼的第二成像光轨替换，其中第二光学衍射组件和第二孔眼在工件靶位的一个第二点域上配合形成一个第二能量密度。

36、如权利要求 31 的激光系统，其进一步包括：

一个可移动的第一成像光轨，该光轨将第一光学衍射组件和第一孔眼集合在一起，这样成像光轨去除后就能把高斯激光输出投射到靶位工件上。

37、如权利要求 31 的激光系统，其中过孔成形能量大于高斯能量的 65%。

38、如权利要求 37 的激光系统，其中过孔成形能量大于高斯激光能量的 75%。

39、如权利要求 31 的激光系统，其中该孔具有最小直径 d_{\min} 和最

大直径 d_{\max} ，并且圆度大于 0.9，这里圆度为 d_{\min}/d_{\max} 。

40、如权利要求 31 的激光系统，其中该孔具有底径 d_b 和顶径 d_t ，并且锥度比大于 0.5，这里锥度比为 d_b/d_t 。

41、如权利要求 31 的方法，其中第一能量密度小于或等于约 $2\text{J}/\text{cm}^2$ 。

42、如权利要求 31 的激光系统，其中该波长约为 355nm 或 266nm。

43、如权利要求 31 的激光系统，其中该孔包括第一层材料和第二层材料，并且第一层材料包括绝缘材料，第二层材料包括金属。

44、如权利要求 43 的激光系统，其中绝缘材料包括有机绝缘材料，而金属则包括铜。

45、如权利要求 31 的激光系统，其进一步在孔眼和工件之间的光路上放置一个可调的波束扩展器。

46、如权利要求 31 的激光系统，进一步包括快速可控的电子装置，其用来快速改变 Q 开关的控制从而使高斯激光输出的重复速率形成快速改变以便将其转换成一个具有第二脉冲能量的第二高斯激光输出。

说明书

采用固态紫外高斯激光束成孔的波束成形和投射成像

技术领域

本发明涉及二极管注入泵式固态激光器，尤其涉及采用这样一种激光器来形成具有 TEM_{00} 非散射空间模式的紫外激光波束以进行打孔的技术。

背景技术

在美国专利文献 US5, 593, 606 和 US5, 841099 中描述了一种采用 UV 激光系统在优选参数范围内形成激光输出脉冲并在多层设备的至少两个不同层上形成通孔或盲孔的技术以及该技术的优点。这些参数通常包括瞬时脉冲宽度小于 100ns 的非激励输出脉冲，点域的直径小于 $100\mu m$ ，并且该点域在重复速率大于 200Hz 时其平均强度或照度大于 100mW。

这里所述的激光器仅以紫外 (UV) 二极管注入泵式 (DP) 固态 (SS) TEM_{00} 激光器为例来进行，该激光器可生成图 1 所示标准高斯照度轮廓 10，但其说明与几乎所有生成高斯输出的激光器都密切相关。采用任何一种激光器特别是 UV DPSS 激光器来烧蚀特定的材料时，只要输送到工件上的激光通量或能量密度（通常以 J/cm^2 为单位）达到对象材料的烧蚀阈值之上即可发生。通过物镜的聚焦作用，原始高斯波束的激光点可做得非常小（通常在 $1/e^2$ 直径点处为 10—15 μm 的量级上）。这样，能量在很小的聚焦点上很容易超过普通电子电路组装材料的烧蚀阈值，特别是普通用作金属导体层的材料铜的阈值。因此，该 UV DPSS 激光器在用于原始聚焦波束的结构配置时，是一种非常优秀的、在电子电路组装件的一或多个铜层上打孔的方法。由于聚焦点通常都小于所需孔的尺寸，因此聚焦点要沿着螺旋、同心圆、或者“环锯”的路径移动以去掉多余的材料从而获得所需尺寸的孔。这种方法通常被称为原始聚焦波束螺旋打孔法或环锯法。为了方便，螺旋法、环锯法以及同心圆加工法通常被称作“非冲孔法”。

现有技术中，另一种公知方法是使具有高斯照度轮廓的 TEM_{00} 激光波束穿过预定直径 12 的一个圆形孔眼或一个掩膜。然后用一个或多个普通的光学折射透镜将该亮孔的像投射到工作面上。成像圆点的尺寸取决于孔的尺寸以及成像折射镜的光学汇聚倍数。这种技术就叫作投射成像技术或者简单地说叫成像技术，其通过对孔尺寸或光学汇聚倍数的调节或者对二者同时进行调节来使成像点的尺寸与所需孔的尺寸相配，由此即可获得所需的孔径。由于高斯照度轮廓中低强度的“翼部”被孔眼的边缘掩膜去掉或剪切去掉，因此这种技术还被称作剪切高斯成像技术。

用成像点打孔时，激光波束驻留于某一孔位并发出多个脉冲直到去掉足够的材料。这种打孔方法通常被称作“冲孔”，其不需原始聚焦波束环锯法或螺旋法在打孔时激光点在孔内移动时所需的极高的准确度和速度。因此采用剪切高斯波束打孔可减少对高速波束定位器的要求，因为其消除了与孔内运动有关的复杂的小半径弧形路径及其附带的高加速度。由于没有什么加工参数需被优化，因此投射成像技术的开发也更为容易。

剪切高斯处理还可生产出更圆并且重复性更好的孔，这是因为激光器之间的激光点在圆度上所固有的偏差不再决定孔的形状，成孔的圆度更多地是由孔眼的圆整度以及用来将孔像投射到工作面的光学组件的质量来决定。其次，圆度还会受到产量的影响和原始高斯输出翼部被剪除程度的影响。圆度或圆整度可被量化为最小直径与通常在孔顶所测的最大直径之比，即 $R = d_{min}/d_{max}$ 。由于只有激光波束高斯照度轮廓的中心部分才能通过孔眼，因此有可能获得很圆的点，这样高斯波束低照度的外部区域就被孔眼掩膜阻挡或剪切掉了。

然而，剪切高斯波束的问题在于波束中心明显亮于边缘部分。这种不一致性反过来会影响该波束形成的孔的质量，特别是盲孔的质量，其会使孔的底部很圆但边缘部分不齐并且有可能会损伤下层的或者旁边的基质。

采用剪切高斯技术的激光系统在使用时需孔眼将不同比率的高斯波束阻挡掉。如果高斯照度轮廓被剪切的非常多从而仅使中心一小部分输出波束穿过孔眼，那么成像在工作面上的照度轮廓则会更加一

致。这种一致性是以大部分能量被孔眼掩膜去掉不能输送到工作面为代价的。浪费掉大部分的波束能量会影响打孔的速度。

另一方面，如果允许大部分波束能量穿过孔眼，那么会有更多波束通量输送到工作面上。然而，点中心的照度 I_c 与点边缘的照度 I_e 之间的差会更大。穿过孔眼的能量比率通常被称为发射水平 T 。对于高斯波束来说存在下面的数学关系式：

$$T = 1 - I_e / I_c$$

比如说，如果 70% 的波束能量穿过孔眼，那么成像点边缘的照度和通量都将只有成像点中心值的 30%。 I_e 和 I_c 之间的这种差值就要求在打孔中进行比较权衡。

如果为了打得更快采用了更高功率的激光，点中心的通量 F_c 有可能会超过孔底的铜开始烧蚀并回流的通量值。同时，如果 T 很大（这样在点内，边缘与中心的通量比 F_e/F_c 很小），成像点边缘的通量很低则不能使有机绝缘材料快速的烧蚀掉。图 2 为剪切高斯输出在典型的孔加工参数下边缘通量与孔眼直径的关系曲线。这样，就需要许多的脉冲才能将绝缘材料（环氧树脂）从孔底边缘去掉，并获得所需的孔底直径。然而，施加这些脉冲时，由于孔心区域的通量很高会使底部的铜烧蚀，因此会损伤孔的中心部分。

因此，剪切高斯技术必须在高脉冲能量和低能量脉冲之间进行权衡。其中高能量脉冲打孔快但会损伤孔底中心，低能量脉冲值虽然低于使铜产生再流动的通量阈值但打孔慢并需要许多脉冲来清理孔的边缘。通常，根据孔尺寸的不同，发射水平定在 30% 到 60% 之间，这样可在激光能量的浪费（阻挡）和成像点内通量不均匀引起的不好加工现象之间取得一个可接受的折衷结果。小孔能以较低的发射水平（如 25—30%）在所能接受的速度下打取，这样成像点会有更高的一致性。然而，在许多场合下，最好使 $50\% < T < 60\%$ 从而使速度达到可接受的水平，但孔的质量会由于底部铜的损伤而受到影响。

由此，需要一种能量更多和速度更快的打孔方法。

发明概述

本发明的一个方面是提供一种方法和 / 或系统，其在提高成孔质

量的同时可提高高斯波束打孔的速度或效率。

本发明的另一个方面是提供一种方法或系统，其采用 UV、二极管注入泵式 (DP)、固态 (SS) 激光器。

本发明能够提高投射成像技术。在本发明的一个实施例中，UV DPSS 激光系统配有一个光学衍射组件 (DOE) 从而将原始激光高斯照度轮廓变形为“顶帽”式或基本均匀的照度轮廓。然后将所形成的成形激光输出用一个孔眼或掩膜剪切以提供成像成形输出波束。该成像成形的输出波束具有从中心到边缘强度基本均匀一致的激光点，这样就能以很快的速度打出高质量的孔而不会对孔底有任何损伤。

传统的采用波束成形、投射成像、或光学衍射组件的系统都采用低亮度非 UV 激光器或高散射多模式激励激光器，并广泛用于材料加工以外的许多场合中。

在波束成形以获得近乎一致照度的许多场合中，加工工艺要求照度的空间分布具有一致性。如果不具有，那么激光通量在工作表面的不一致性会导致聚焦点或成像点的点心过度加工而其边缘则加工不足。在本发明中，波束成形不仅能打孔，而且其能提高加工工艺使其更快并具有更高的可控性。因此本发明提供的 UV 激光打孔工艺能提高打孔的质量、速度以及强度。

尽管已有其它许多类型的设备与激励激光器一起来形成近乎一致或“均匀”的材料加工波束，然而这种均质器不能与一致性高、接近 TEM_{00} 空间分布模式的 DPSS 高亮度激光器一起工作。此外，不同于激励激光器波束所固有的成像点很大的性质， TEM_{00} 空间模式具有很高的聚焦性，因此本发明能利用更高比例的入射能量。

参照附图，从本发明下面优选实施例的详细说明中能够清楚地了解本发明的其它方面和优点。

附图说明

图 1 为现有典型 DPSS 激光脉冲所具有的三维高斯照度轮廓的立体图；

图 2 为剪切高斯输出以典型打孔参数打孔时，孔眼直径与边缘通量之间的关系曲线；

图 3 为在普通激光加工件的一部分材料打出的孔的、放大了的侧面剖视图；

图 4 为本发明用来提高打孔能力的一例激光系统的、部分示意的简化侧视图；

图 5A—5C 为激光波束穿过图 4 激光系统中的各个系统组件时，其照度轮廓变化的简化序列图；

图 6A—6D 为几例照度基本一致的方形或圆形照度轮廓图；

图 7A—7D 为成像点尺寸变化时，波束成形系统的三个不同示例的、部分示意的简化侧视图；

图 8 为采用了辅助检流镜通路从而可利用原始聚焦波束的激光系统的部分示意的平面简图；

图 9 为成像成形输出和剪切高斯输出在典型孔加工参数下、在几个典型发射水平时，孔眼平面处理理想通量分布曲线的对比图；

图 10 为剪切高斯打孔技术和成像成形打孔技术生产能力的对比曲线图；

图 11 为孔的锥度比与工作面相对于标称成像平面的位置的关系曲线图；

图 12 为孔径与工作面相对于标称成像平面的位置的关系曲线图；

图 13 为孔的圆度与工作面相对于标称成像平面的位置的关系曲线图；

图 14 为在 $45\mu\text{m}$ 厚的环氧树脂上打取 $75\mu\text{m}$ 孔的电子显微图的拷贝；

图 15 为在 $150\mu\text{m}$ 厚、经预先蚀刻的铜口内，在 $45\mu\text{m}$ 厚的环氧树脂中打取 $75\mu\text{m}$ 孔的电子显微图的拷贝。

优选方案的详细描述

图 3 为加工出的、通常激光加工件 22 如 MCM、电路板或半导体微电路组件上的通孔 20a 和盲孔 20b（通称为孔 20）放大了的、侧面剖视图。为了方便起见，工件 22 在这里仅具有四层 24、26、28 和 30。

层 24 和 28 可含有比如说标准的金属，如铝、铜、金、钼、镍、钯、铂、银、钛、钨、金属氮化物或者它们的组合物。通常，金属层

24 和 28 在厚度上有所变化，其通常在 $9-36\mu\text{m}$ 之间，但也可小于或等于 $72\mu\text{m}$ 。

层 26 可含有比如说标准的有机绝缘材料如苯环丁烷 (BCB)、双马来酰亚胺三氮杂苯 (BT)、纸板、氰酸酯、环氧树脂类、酚醛塑料、聚酰亚胺、聚四氟乙烯 (PTFE)、各种聚合物合金或者它们的组合物。通常，有机绝缘层 26 在厚度上可有较大变化，并且通常总是比金属层 24 和 28 要厚许多。作为举例，有机绝缘层 26 的厚度可在大约 $30-400\mu\text{m}$ 之间，堆叠在一起时可达 1.6mm 。

层 26 还可包含一层标准的加强组件或“层” 30。层 30 可以是纤维铈，或者是比如芳香族聚酰胺纤维、陶瓷的分散颗粒，或者是织入或分散到有机绝缘层 26 中的玻璃材料。通常，加强层 30 要大大薄于有机绝缘层 26，其厚度一般在 $1-2\mu\text{m}$ 的量级上，最高可到 $10\mu\text{m}$ 。本领域普通技术人员都知道加强材料能以粉末的形式加到有机绝缘体中。采用这样的粉末加强材料所形成的层 30 可以是非连续的和非均匀的。本领域普通技术人员也都知道，层 24、26 和 28 在内部也可以是非连续的、不均匀的以及是不平的。由多层金属、绝缘材料和加强材料构成的堆件其厚度可大于 2mm 。

通孔 20a 通常从顶 42 到底 44 穿过工件 22 的所有层和材料，盲孔 20b 则不穿过所有的层和 / 或材料。比如在图 3 中，盲孔 20b 停止于层 28，不穿过去。孔 20 的锥度通常用底部直径 d_b 与其顶部直径 d_t 的比来描述。在工业标准中，锥度比 66% 在当前是可接受的，而 67—75% 则是很好的锥度比。本发明可使锥度比在最大生产能力时大于 80% 而不会损伤层 28，并且在锥度比大于 95% 时也有可能，而且不损伤层 28。

孔径通常在 $25-300\mu\text{m}$ 之间，但是激光系统 50 (在图 4 中) 可生产出孔径小到 $5-25\mu\text{m}$ 或者大到 1mm 的孔 20a 和孔 20b。孔径小于 $150\mu\text{m}$ 的孔优选由激光冲孔形成，而大于 $180\mu\text{m}$ 的孔则优选由环切法、同心圆法或者螺旋法加工形成。

参见图 4，图 4 所示为本明激光系统 50 的一个优选实施例，该系统包括 Q 转换、二极管注入泵式 (DP)、固态 (SS) UV 激光器 52，该激光器优选包括固态激射物如晶体 Nd:YAG 、 Nd:YLF 、 Nd:YAP 、或者 Nd:YVO_4 、或者是有钽或铒掺杂的 YAG 晶体。激光器 12 优选提供协调产

生的、波长在 355nm（三倍于 Nd:YAG 的频率）、266nm（四倍于 Nd:YAG 的频率）、213nm（五倍于 Nd:YAG 的频率）的 UV 激光脉冲或者输出 54，并基本具有 TEM₀₀ 的空间模式轮廓。

尽管通常都采用高斯曲线来描述激光输出 54 的辐射轮廓，但本领域的普通技术人员都知道大多数激光器 12 的输出都不会与 $M^2=1$ 的高斯输出 54 完全一致。为了方便起见，术语高斯在这里包括 M^2 小于或者约等于 1.4 的轮廓，其中 M^2 优选小于 1.3 或 1.2。本领域普通技术人员都知道可由上面所列的其它激励物获得其它的波长。激光腔的布置、谐波的生成以及 Q 转换操作都是本领域普通技术人员所公知的。其中一例激光器 12 的详细内容在 Owen 等人的美国专利 NO5, 593, 606 中进行了描述。

UV 激光输出 54 可经光路 64 上各种公知的光学组件包括光束扩展器或者校准透镜组件 56 和 58（其具有比如 2 倍的扩展系数）转换成经扩展和校准了的脉冲或输出 60。经过校准了的脉冲 60 再穿过一个形成成像系统 70 以形成校准了的、过孔的成形脉冲或输出 72，然后该输出 72 再经一个光束定位系统 74 来定向，从而使校准了的、通过孔的、成形了的输出 72 通过扫描镜头 80（该扫描镜头还被称为“二次成像”、聚焦、剪切或物镜）到达工件 22 成像平面上所要求的靶位 82。

光束定位系统 74 优选包括一个转换平台定位器（translation stage positioner）76 和一个快速定位器 78。转换平台定位器 76 采用包括至少两个平台或者台面来支撑比如 X、Y 和 Z 向定位镜，并能在同一或者不同电路板或者芯片组的靶位 82 之间快速移动。在一优选实施例中，转换平台定位器 76 是一个分轴系统，其中 Y 向平台支撑并移动工件 22，X 向平台支撑并移动快速定位器 78 和物镜 80，X 和 Y 向平台之间的 Z 向尺寸可调，并且通过激光器 52 和快速定位器 78 之间的任何转动，折镜 75 调整光路 64b。快速定位器 78 比如可包括一对检流镜，其根据所提供的测试或者设计数据可形成独特或者双重的处理操作。这些定位器可响应于预定或非预定的数据来单独移动，也可协同起来一起移动。这样一种优选的可用来钻孔 20 的光束定位系统 74 在 Cutler 等人的美国专利文献 NO. 5, 751, 585 进行了详细的论述。

一种可对光束定位组件的移动进行导向的激光控制器优选使激光

器 52 的发射与光束定位系统 74 中组件的运行同步, 如 Konecny 在美国专利 No. 5, 453, 594 中所描述的“辐射光束的定位发射协同系统”。

包含上述许多系统组件的一例优选激光系统 50 是采用美国 Oregon 州 Portland 市的 Electro Scientific Industries 公司在 5200 型激光系统中或者该系列的其它激光系统中使用的 45xx 型 UV 激光器 (355nm)。然而, 本领域普通技术人员都知道也可采用其它任何具有高斯波束强度轮廓的激光器、或者其它波段的激光器如 IR 激光器或者具有其它波束扩展系数的激光器。

图 5A—5C (合起来为图 5) 展示了激光束在穿过激光系统 50 各个系统组件时, 发射轮廓 92、96 以及 102 所经历一系列变化的简化图。图 5Ba—5Bc 所展示的是成形输出 94 的简化照度轮廓 96a—96c 同距离 Z 相对于 Z_0' 的关系图。 Z_0' 为一距离, 该距离处成形输出 94 如照度轮廓 96b 中所示具有最平的照度轮廓。

再来参见图 4 和图 5, 成形成像系统 70 的一个优选实施例包括一个或多个波束成形组件 90, 其在波束成形组件 90 下游的孔眼掩膜 98 附近将经校准的、具有原始高斯照度轮廓 92 的脉冲 60 转换成成形 (并聚焦的) 脉冲或输出 94b, 该输出 94b 具有近乎一致的“顶帽”轮廓 96b, 或者是具有特殊的超级高斯照度轮廓。图 5Ba 示例性地展示了一例照度轮廓 94a, 其中 $Z < Z_0'$; 图 5Bc 示例性地展示了一例照度轮廓 94c, 其中 $Z > Z_0'$ 。

波束成形组件 90 优选为一光学衍射组件 (DOE), 它能以很高的效率和精度完成复杂的波束成形。波束成形组件 90 不仅将图 5A 的高斯照度轮廓转变成图 5Bb 的近乎一致的照度轮廓, 而且它还能将成形输出 94 聚焦到一个可确定的或特定的点尺寸中。成形后的照度轮廓 94b 以及所述的点尺寸在设计上出现在波束成形组件 90 下游的设计距离 Z_0' 处。在一优选实施例中, Z_0' 接近于或等于 Z_0 。尽管 DOE 优选为单个的组件, 但本领域普通技术人员都知道 DOE 可包括多个不同的组件如 Dickey 等人在美国专利文献 No. 5, 864, 430 中所公开的相位片和转换组件。该文献还公开了出于波束成形目的来设计 DOE 的技术。适合的 DOE 可由美国 Alabama 州 Huntsville 市的 MEMS Optical 公司生产。

图 6A—6D (合起来为图 6) 示例性地展示了如美国专利文献

No. 5, 864, 430 所描述的高斯波束穿过 DOE 所形成的基本均匀的照度轮廓。图 6A—6C 所示为方形照度轮廓，图 6D 所示为柱形照度轮廓。图 6C 的照度轮廓是“倒置的”，所示边上的强度高于中心。本领域普通技术人员都知道波束成形组件 90 可设计成能提供其它多种照度轮廓形式，这些照度轮廓可用于特定的场合，并且这些照度轮廓通常随着它们到 Z_0' 的距离而改变。本领域普通技术人员还知道如图 6D 所示的柱形照度轮廓优选用于圆形的孔 98；立方形的照度轮廓优选用于方形孔；并且其它波束成形组件 90 的特性可选择成与其它孔的形状相适应。在许多向前钻取直孔的场合中，优选采用倒置式的柱形照度轮廓。

再来参见图 4—6，成形脉冲 94 优选聚焦并穿过一个孔眼掩膜 98 从而使成形脉冲 94 的边缘更锐利。在一优选实施例中，孔眼掩膜 98 位于“标称孔眼面”，该面相对于波束成形组件 90 的距离优选为 Z ，这里 $Z=Z_0'$ 、 Z^* 或 Z_0 。 Z^* 大约为成形脉冲 94 以所需特定量的能量穿过所需给定直径 d_{98} 的孔眼 98 时的距离。本领域普通技术人员都知道在一个理想的系统中， $Z=Z_0'=Z^*$ 。

尽管在大多数情况下在单个激光系统 50 中将孔眼 98 定位在距离 Z_0' 是优选方案，但在激光系统 50 组的情况下，则将孔眼 98 定位在距离 Z^* 处以处理激光器 52 与激光器 52 之间、波束成形组件 90 与 90 之间输出的变化。 Z^* 之所以优选是因为 Z^* 比 Z_0' 更为敏感，这样在距离 Z^* 误差范围内所进行的调整通常不会使照度轮廓 96b 的宽度偏离到严重影响孔质或生产能力的程度。采用距离 Z^* 来布置孔眼的优点是： Z^* 可使多个在激光器 52 的高斯输出 54 上有偏差的激光系统 50 采用相同的加工参数来进行相同的操作。这样，采用 Z^* 有助于提高记录、校准、同步以及孔质的一致性。

掩膜 98 可包括一个 UV 反射材料或 UV 吸收材料，但其优选由绝缘材料构成，如熔有二氧化硅的 UV 级材料或者镀有多层高 UV 反射膜而不是抗 UV 膜的兰宝石材料。掩膜 98 具有直径为 d_{98} 圆形孔眼以形成高质量的圆形成像成形脉冲 110。作为选择，掩膜 98 的孔眼可在其光线出口侧向外张开。显然，本领域普通技术人员都知道掩膜 98 的孔眼也可为方的或者其它非圆的形状，甚至于如果工件 22 表面所需为非圆的点像或者非圆点像也可接受，那么该孔的形状可不考虑。直径 d_{98} 将成

形脉冲 94 的翼部 100 切去以形成过孔的成形轮廓 102，其以发射能损失为代价来减少成形脉冲 94 的直径。

然后，由一焦距为 f_1 的“第一成像”或集光透镜 112 将该发射出来的、过孔的成形脉冲或输出 110 收集起来以形成经校准、过孔的成形输出 72，该输出穿过定位系统 74，然后由焦距为 f_2 的扫描透镜 80 再次成像以形成指向工件 22 的（靶向的、过孔的、成形的）激光系统脉冲或输出 114，并且在工件 22 上形成点直径为 d_{spot} 的成形成像输出 118。在优选实施例中，透镜 112 和 80 包括用来抑制衍射环的光学成像组件，显然本领域普通技术人员都知道也可采用单个的成像镜头。在一优选实施例中， $f_1=216\text{mm}$ 同时 $f_2=81\text{mm}$ ，显然本领域普通技术人员都知道也可采用其它的镜头组合和焦距长度。集光透镜 112 和扫描透镜 80 能以聚焦系数 M 生成具有均匀照度的、掩膜 98 孔眼的像（当不用掩膜 98 时，可形成非圆的、均匀照度的点像），这里 $M=f_1/f_2=d_{ap}/d_{spot}$ 。在一固定的聚焦系统的优选实施例中， $M=2.66$ ，当然本领域普通技术人员都知道也可采用其它聚焦系数。

在一优选实施例中，波束成形组件 90、孔眼掩膜 98 以及第一成像透镜 112 安装在一个可互换的光学成像导轨（IOR）上。在一实施例中，距离 Z 、 f_1 、 f_2 保持不变从而使 IOR 中的这些组件与不同特性的类似组件具有互换性从而可使点尺寸 d_{spot} 具有不同的范围。波束成形组件 90 的位置也是可变的，这样距离 Z 可对应于各种波束成形组件 90 和孔径 d_{ap} 的组合在 Z^* 的误差范围内进行调节。透镜 112 和 80 之间的有效距离是可变的，这样具有不同 IOR 组件组合形式的多个 IOR 可进行快速互换从而使加工操作在点预定尺寸的不同范围内进行。采用这些不同的组合可使波束形状或照度轮廓 96 适应于每一个孔径 d_{ap} 从而使穿过孔的单位脉冲 62 的能量最大化，这样，因孔径限制而剪切或浪费的能量可达到最小。此外，为了提高脉冲能的使用效率，IOR 光学组件之间位置可调就使得掩膜 98 的调整减到最小，最好使掩膜 98 能经受激光的破坏。

然而，本实施例的缺点在于：需要大量可互换的 IOR 光学组件才能加工出一定范围的可用点尺寸。比如，每一个波束成形组件 90 可能比如说仅对三到四个点尺寸 d_{spot} 是有效的，并且每一个掩膜 98 可能比

如说仅对一个点尺寸 d_{spot} 有效。这样，为了涵盖最高到 $250\ \mu\text{m}$ 的大多数有用的点尺寸 d_{spot} 范围，例如可集合八个波束成形组件 90 和 25 个掩膜 98 来提供所有需要的组合。

图 7A—7D 是用来改变成像点尺寸的四个成形成像系统 70a、70b、70c 和 70d（总体为成形成像系统 70）示例的部分示意并简化了的侧视图。参见图 4 和 7A，一个变焦镜头或可变的波束扩展器 120a（其具有严格的公差从而使波束保持精确）沿着光路 64 放置在第一成像透镜 112 和扫描透镜 80 之间。在这些实施例中，焦距 f_2 是固定不变的，但焦距 f_1 是可变的，因此聚焦系统 M 和点尺寸 d_{spot} 就是可变的，这样每一个波束成形组件 90 比如说对于 8—10 个点尺寸有效，并且每一个孔也对 8—10 个点有效。这样，为了涵盖最高到约 $250\ \mu\text{m}$ 的点尺寸 d_{spot} 的范围，只需用几个波束成形组件 90 和掩膜 98 就可以了。作为选择，这些实施例可采用虚线内所示的校准镜片 79。

在图 7B 所示成形成像系统 70b 实施例的变焦透镜组件 120b 中，透镜 80 和透镜 128 组合后形成变焦透镜组件 120b 中的一个透镜 130。在图 7C 所示成形成像系统 70c 实施例的变焦透镜组件 120c 中，透镜 112 和透镜 122 组合后形成变焦透镜组件 120c 中的一个透镜 132。在图 7D 所示成形成像系统 70d 实施例的变焦透镜组件 120d 中，透镜 80 和透镜 128 组合后形成单个透镜 130 并且透镜 112 和透镜 122 组合后形成单个透镜 132。本领域普通技术人员都知道成形成像系统 70a 和 70c 最适于优选的分轴转换平台定位器 76，并且成形成像系统 70b 和 70d 最适于没有快速定位器 78 的波束定位系统 74，如采用一个固定物镜 80 的非扫描系统。普通技术人员还知道在不脱离本发明范围的前提下，还有许多其它的变焦透镜组合可以用在这里。

尽管所示的定位系统 74 是沿着光路 64 紧跟着变焦透镜组件 120，然而该系统中的一些部件也可放在变焦透镜组件 120 的前面。例如，可将转换平台定位器的一些部件放在变焦透镜组件 120 的上游，如某些镜片 75，然而快速定位器 78 还是优选放置在变焦透镜组件 120 的下游。普通技术人员都知道这些成形成像系统 70 可由各个 IOR 支撑或者由单个 IOR 系统支撑，其允许光学组件的更换和重新定位，并且这些支撑成形成像系统的 IOR 能够更容易就被取下来从而使激光系统 50 具

有提供高斯输出的多样性功能。

图 8 为激光系统 150 部分简化了的平面示意图, 该激光系统 150 采用检流计 152 和 154 来形成附加的检流镜通路 156, 该通路可加到图 4 的激光系统 50 中从而可在校准了的、过孔成形输出 72 和高斯输出 60 之间进行切换。参见图 8, 波束通路 64a 通向检流镜 158, 该检流镜 158 要么使激光输出沿着波束通路 64b 穿过成形成像系统 70 和检流镜 162, 要么将使激光输出从镜片 164 反射出来, 作为选择可穿过校准透镜组件 166, 然后离开镜片 168, 离开检流镜 162 并射向工件 22。镜片 164 和 168 优选为可调以补偿斜度和转角的误差。

普通技术人员都知道校准透镜组件 166 是可变的从而可改变聚点的空间尺寸 d_{spot} 以适应不同的应用场合。作为选择, 例如成形成像系统 70 可沿着通路 156 放置以获得校准了的、过孔成形输出 72, 这样原始高斯波束 60 可穿过波束通路 64b。同样, 可将成形成像系统 70 同时用于波束通路 64b 和通路 156 上, 并且每一个成形成像系统 70 都具有可变的或者不同的焦距以形成不同的点尺寸 d_{spot} , 例如可用来在两个不同的成像成形点尺寸之间切换。同样, 普通技术人员都知道激光系统 150 可采用高斯输出来完成各种任务而不仅是这里讨论的孔的加工。比如, 激光系统 150 可用来以很高的生产速率在板上切割出电路。

激光系统 50 和 150 都能生产出具有输出 114 的激光系统, 该输出具有典型的孔加工范围的优选参数, 其包括波束点区域上平均功率强度大于约 100mW, 并且优选为大于 300mW; 点尺寸的直径或空间主轴约为 $5\mu\text{m}$ 到 $18\mu\text{m}$, 优选为约从 25— $150\mu\text{m}$, 或者是大于 $300\mu\text{m}$; 重复速率大于 1kHz, 优选大于约 5 kHz 甚至是大于 30 kHz; 紫外波长优选为约在 180—355nm 之间; 瞬时脉冲宽度约小于 100ns 并且优选为约 40—90ns 或更短。激光系统输出 114 优选参数的选取应能够避免对孔 20 或其周围形成热损伤。普通技术人员都知道激光系统输出 114 的点域优选为圆形, 但其它一些简单的形状如方形、矩形也很有用, 只要正确选择波束成形组件 90 以及掩膜 98 上孔眼的形状, 更为复杂的波束形状也可实现。

上述加工范围的确定有利于在许多金属材料、绝缘材料或者其它目标材料等这些对紫外光具有不同光学吸收性及其它特性的材料上打

图 9 所示为在典型的打孔参数下，孔眼平面处的成形输出 94b 以及几种典型发射水平下剪切高斯输出的理想轮廓的对比图。工件 22 上的通量水平等于孔的通量水平乘以成像聚焦系数的平方，在一优选实施例中其约为 7。对于成形输出 94b 和剪切高斯输出，孔边缘的通量分别约为 $1.05\text{J}/\text{cm}^2$ 和 $0.60\text{J}/\text{cm}^2$ 或更少。这样，工件 22 处，成像点边缘的通量对于成像成形输出 118 和剪切高斯输出分别约为 $7.4\text{J}/\text{cm}^2$ 和 $4.3\text{J}/\text{cm}^2$ 。通常的有机绝缘材料层 26 对于这两种通量水平具有明显不同的烧蚀速率。这样，采用成像成形输出 118 时只需几个脉冲就能将一个孔 20 打好，从而提高了生产能力。

根据本发明的上述内容，一例采用成像成形输出 118 来打孔 20 的方案描述如下：整个成像点的通量保持在比如说能将铜破坏的通量值 F_{damage} 的 90%；然后将绝缘材料在不损伤孔底 44b 的条件下烧蚀；作为对比的是发射水平为 $T=50\%$ 的剪切高斯波束，如果将点中心保持在该通量水平上，那么边缘的通量就只有 F_{damage} 的 45%；换过来，如果将点边缘保持在 F_{damage} 的 95%，这时中心处的通量可达到破坏阈值的 180% 并基本形成破坏。将成像点边缘保持在很高的通量时，由于每一次脉冲都能去掉更多的材料，因此可用较少的脉冲将绝缘材料从孔的边缘清除出去；这样，成像成形输出 118 的打孔能力可大大超过剪切高斯输出的打孔能力。

图 10 所示为成像成形输出 118 和剪切高斯输出在 $45\mu\text{m}$ 厚环氧树脂上冲出直径为 $75\mu\text{m}$ 的孔 20 时，两者生产能力的对比图。参见图 10，从中可确定出在每一个脉冲重复频率（PRF）下，在底部直径至少为顶部直径的 75% 时打一个孔所必须的最少脉冲数 N 。这样，在该 PRF 下对应于值 N 的打孔时间就可计算出来，然后再加上 1.0ms 的孔到孔的移动时间就可获得其生产能力。

通常，随着激光 PRF 的增加，每一个脉冲的能量以及工作面的通量将不断下降。通量的下降意味着每次脉冲去掉的材料将减少，因此必须加入更多的脉冲。然而，随着 PRF 的提高，单位时间会有更多的脉冲输出。其结果取决于这两个相反因素的作用，随着 PRF 的提高，一个是要将打孔速度降低，另一个是要将打孔速度提高。图 10 所示可知：相反因素作用的结果是最大生产能力出现在 PRF 测试范围的中间。

从图 10 还可看出成像成形输出 118 的生产能力曲线比剪切高斯输出的曲线更平。这种更平的生产能力曲线在打孔速度和打孔质量之间进行折衷时非常有用。为了避免对金属底层 28 的损伤，通常是需提高 PRF，从而降低每一个脉冲的能量并将工作面的通量值降到金属层 28 烧蚀时的能量阈值之下。随着 PRF 的提高，成像成形输出 118 生产能力的降低要慢于剪切高斯输出，这样在提高 PRF 保持孔底质量时，成像成形输出 118 所带来的生产能力缺陷就更少。

再来参见图 10，从中可以看出，成像成形输出 118 的峰值打孔能力比剪切高斯输出要高出 25% 还多。并且成像成形输出 118 在获得更高打孔质量（重复性、侧壁锥度、圆度）的同时与原始聚焦的高斯波束相比还可获得更高的生产能力。

在孔质方面，特别是盲孔 20b 的孔质，本发明的成像成形输出相对于剪切高斯输出还可在更高的生产速率下获得更好的锥度最小的品质。除了上述能够更快的将绝缘材料从孔 20b 的底边清除出去外，成像成形输出还能将绝缘材料从孔 20b 的底边更为彻底地清除出去而不会对下面的金属层 28 有损伤，因为脉冲 94 其形状上的一致性实际上已消除了孔 20b 底部中心的层 28 中形成热点的可能性。成像成形输出 118 在合适的通量下可一直驻留于盲孔中，直到其获得所需的洁净度和锥度。

此外，可选择波束成形组件 90 使其能形成图 6C 所示的具有反向照度轮廓的脉冲，该轮廓沿着虚线 180 的外侧剪切后将有利于绝缘材料沿着孔 20b 的外侧边缘除去从而进一步提高锥度。本发明可使锥度比在最大生产能力时大于 80% 而不会损伤层 28，并且在不损伤层 28 的情况下也有可能使锥度比大于 95%（在孔 20 的纵横比更低时）。锥度比优于 75% 的情况甚至适合于最小的孔，在采用传统的光学组件时，其孔顶直径可约在 5—18 μm 之间，尽管此时生产能力有可能会下降。

图 11 所示为孔的底径与顶径之比（在 35 μm 的微粒强化环氧树脂上打取 62 μm 的孔时）同工作面与标称成像平面（ $z=0$ ）之间距离的关系。参见图 11，标称成像平面是打出的孔 20 最圆、孔的顶边最锐利的位置。 Z 为正值表示成像平面位于标称成像平面的下面，即工件 22 相对于 $z=0$ 时的位置远离系统内的光学组件。所示误差带 3σ 仅是参考，

因为底径值很难测得很准确。

一共取了九个 z 值，对应于每个 z 值都打了 100 个孔并进行测量。数据点表示的是平均值，垂直误差带表示每 100 个采样值中三倍于平均值的标准偏差的情况。最大的底径 / 顶径比出现在 $z=0$ 的成像平面处。在整个 $a \pm 400 \mu\text{m}$ 的范围内底径 / 顶径比在最高生产能力处始终大于 75%。

图 12 所示为孔径（在 $35 \mu\text{m}$ 的微粒强化环氧树脂上打取 $62 \mu\text{m}$ 的孔时）同工作面与标称成像平面之间距离的关系图，标称成像平面处 $z=0$ 。当工件 22 在标称成像平面之上进一步移动时，孔顶的平均直径不断增加。而对于 $z=0$ 之下直到成像平面之下 $400 \mu\text{m}$ 处各个位置，顶径则保持相对不变。 3σ 范围内的直径通常都保持在平均值的 $\pm 3 \mu\text{m}$ 之内，除了 $z=+300 \mu\text{m}$ 和 $z=-300 \mu\text{m}$ 这两处。对底径来说，情况有所不同，从标称成像平面之上到其之下，平均值始终是不下降。由于孔底的直径和圆度相对于孔顶的尺寸和圆度来说更难控制，因此所示的底径仅为参考。因此，用于激光系统 50 和 150 的过程控制统计技术可用于孔顶的特性参数。

从图 11 和图 12 中所示的数据可以看出，有以下一些方法来控制加工稳健性这个核心问题。如果我们想在材料的厚度和加工条件发生变化时使孔顶径保持不变，那么最好将工作平面设定到标称成像平面下面一点的位置，比如说 $z=+200 \mu\text{m}$ 。这样 z 值在 $\pm 200 \mu\text{m}$ 的区域内变化时，顶径都不会有明显的变化。另一方面，如果我们更希望保持孔的底径 / 顶径比不变，那么最好将工件 22 准确地设定到标称成像平面处，这样就可保证至少这点的 $\pm 200 \mu\text{m}$ 范围内，底径 / 顶径的比下降不超过 5%。这些方法的有效性取决于当工件 22 离开标称成像平面时是否还有其它一些孔性参数需保持在可接受的范围内。

另一个问题是孔的圆度。如图 13 所示为在 $35 \mu\text{m}$ 微粒强化环氧树脂上打取 $62 \mu\text{m}$ 的孔时圆度与 z 的关系图。参见图 13，为了清楚起见，孔底圆度数据放在实际 z 值的右边。该孔底数据仅用于参考。

图 13 可以看出在整个 $z=\pm 400 \mu\text{m}$ 的范围内，圆度始终不少于 90%。圆度为最小轴 / 主轴。对于平均直径 $62 \mu\text{m}$ 来说，圆度 90% 对应于主轴直径比最小直径约大 $6.5 \mu\text{m}$ 。然而，当 z 值为正时（位置低于

标称成像平面)，孔与孔之间在圆度上统计出的变化是明显的。图中所示高出数据点(平均值)的误差带其超过 100% 圆度的部分没有意义，但是，比如在 $z=+300\mu\text{m}$ 处，图 13 中 3σ 的外延线所具有圆度可低于 80%。

通常本发明成像成形输出 118 允许孔 20 在生产速度高于剪切高斯输出所能获得的生产速率时其圆度或圆整度高于 90%。在许多情况下，成像成形输出 118 在较高生产速度时在孔的整个尺寸范围内，其圆度甚至能超过 95%。

尽管这里所讨论的一些例子提到了最大输出的因素以及其它涉及目前可获得的 UV DPSS 激光器 52 使用的因素，普通技术人员都知道当所能获得的 UV DPSS 激光器 52 更为强大时，这些例子中的孔径和层厚可以提高。

不考虑成像成形输出 118 的优点，单是投射成像就可将每一次成像成形激光脉冲 118 中所能获得的能量投到比原始聚焦高斯波束烧蚀部分所覆盖的区域更大的区域上。因此，UV DPSS 激光器 52 可将单位脉冲能量限定于金属层 24 和 28 的尺寸和厚度，这里激光点将超过工件材料烧蚀时的通量(fluence)阈值。

至于盲孔，例如可将通量为 $10-12\text{J}/\text{cm}^2$ 的成像成形输出 118 在厚度为 $5-12\mu\text{m}$ 的顶部铜层 24 上烧蚀出直径最大为 $40\mu\text{m}$ 的小孔。本领域普通技术人员都知道该通量范围意味着相当低的、比如约为 3—6kHz 重复速率。本领域普通技术人员还知道更高的通量会产生不利的结果如加热，并且所形成的更慢的重复速率会反向影响生产能力。当 UV DPSS 激光器 52 所能获得的功率继续增加时，可获得更高能量的脉冲，其可使成形成像技术扩展到孔尺寸更大的、整个铜的应用场合中。

在此过渡期间，在金属顶层 24 上冲出直径约大于 $35\mu\text{m}$ 孔眼的优选方法是采用图 8 中的激光系统 150。其中检流镜通路 156 用来使聚焦的原始高斯输出作为激光系统输出 114 提供出来。聚焦的原始高斯输出通常采用非冲孔技术来穿透金属顶层 24，然后控制检流镜片 152 和 154 使激光输出 60 穿过成像系统 70 来加工绝缘层 26。

无论金属顶层 26 是如何加工的(该顶层甚至可经预先蚀刻)，下

面的绝缘层 26 可接着用成像成形输出 118 以更低的通量、更高的重复速率加工出前面所述底面光圆、锥度不明显的孔 20。通常绝缘层的加工通量范围从约低于 $0.8\text{J}/\text{cm}^2$ 到约高于 $4\text{J}/\text{cm}^2$ ，其中 $0.8\text{J}/\text{cm}^2$ 不会对金属底层 28 有任何损伤，而 $4\text{J}/\text{cm}^2$ 则基本会对金属底层 28 形成损伤。尽管优选的通量值取决于材料，但对于大多数绝缘层 26 来说，当成像成形输出 118 接近铜金属层 28 时，通量值优选为 $1.2-1.8\text{J}/\text{cm}^2$ 。

本领域普通技术人员都知道以该通量范围的高端值加工绝缘层 24 的上部时具有生产能力方面的优点，然后在激光脉冲 114 接近金属底层 28 时将通量向该范围的下端减少（优选通过提高重复速率来实现）。在最佳产量时，重复速率优选为 $12-45\text{kHz}$ ， $12-15\text{kHz}$ 适用于大孔 20b，并且很难将层 26 烧蚀， $30-45\text{kHz}$ 适用于小孔。普通技术人员都知道今后随着 DPSS 激光能量的提高，这些重复速率值也会增加。

在某些中等尺寸盲孔 20b 的场合中，最好采用快速定位器 78 利用聚焦后的高斯输出以非冲孔的方式加工金属顶层 24，然后再利用成像成形输出 118 冲穿绝缘层。普通技术人员还知道激光系统 150 的原始聚焦高斯输出还可用来加工直径太大以至于不能用成像成形输出 118 加工的通孔 20a 或者速率比圆度或边缘质量更为重要的孔 20a。

至于有机或无机绝缘层 26，它们通常都具有非常低的烧蚀点，很容易用投射成像的配置烧蚀加工出所需最大的孔径。然而，对于更大的、约 $150\mu\text{m}$ 到 $200\mu\text{m}$ 甚至更大的孔，根据特定材料性质的不同，成像成形输出 118 在孔直径上的能量分布减少到产量开始下降的点处，这是因为此时每次激光系统脉冲 114 去掉的材料少了。

在孔径大约超出 $250-300\mu\text{m}$ 并且边缘质量和圆整度不如产量那么重要的情况下，优选利用快速定位器 78 以激光系统 150 的成像成形输出 118 或聚焦高斯输出以非冲孔的方式加工出孔 20。普通技术人员都知道非冲孔加工所形成的大孔 20 在锥度和圆度上适于大多数场合。这一点同时适用于通孔和盲孔的加工。普通技术人员还知道成像成形输出 118 在许多场合下比聚焦高斯输出在打大孔方面更为有效。

图 14 为 UV YAG 激光系统 50 的成像成形输出 118 在环氧树脂上打孔时，该孔通常所具有的电子扫描显微图 (SEM)。孔径为 $75\mu\text{m}$ ，树脂厚度为 $45\mu\text{m}$ ，该基片的预处理是将树脂的顶部铜层蚀刻掉，该树

脂在 FR4 芯体上镀膜。底层（或内层）铜为 $18\mu\text{m}$ 厚（1 / 2oz, 盎司）。

其它一些显著特征包括：第一，孔的侧壁异常光滑并且很直，孔的顶边非常锐利；第二，由于采用了圆形孔眼的投射成像，打出的孔如前所述特别圆；最后，底层铜基本没有损伤并且没有任何沉积的树脂。

在本特定测试中，波束成形组件配置成工作面上能形成反向通量轮廓（图 6C）的结构，即点边缘处的通量稍稍高于中心。然后将激光器的参数（PRF 以及所加的脉冲数）调整到使点边缘处的工作面通量刚好高于金属铜烧蚀的值。仔细观察该图像可发现靠近孔底边缘的光滑区为金属铜有点回流的区域。这种金属铜的稍稍回流能够很好地保证所有的树脂从孔中去掉。内层铜的损伤的这种控制程度通常由成像成形输出 118 所形成的孔 20 决定。

对 HDI 电路板上的微孔，大多数普通的、在镀膜的树脂结构上用激光打孔的技术都采用预先蚀刻在顶部铜层上的圆形开口。该开口用作 CO_2 激光加工中的等角掩膜。层与层之间在配准上难度使该方法很难在更大的衬垫尺寸（ $>200\mu\text{m}$ ）上打取更大的孔（ $>100\mu\text{m}$ ）。然而，定位系统 74 可使激光打孔系统层与层之间精确定位的问题得以解决，同时只有绝缘树脂上的打孔能力更高。在这种新的方法中，外部的铜层被预先大体蚀刻成内层地带板的尺寸，然后将激光器进行定位并在该开口中打取小孔。由本方法所形成的孔 20 的一例电子扫描显微图为图 15，其中所示为在预先蚀刻的 $150\mu\text{m}$ 铜口中打出的、穿过 $45\mu\text{m}$ 环氧树脂的、成像成形的 $75\mu\text{m}$ 孔。

普通技术人员都知道这里所描述的波束成形成像技术不仅可提高孔的圆度以及边缘质量，还可提高重复性和定位精度，例如在衬垫的中心进行精确定位。并且还可用来提高电子器件生产中阻抗的控制性和可预测性。

成形成像技术和剪切高斯技术之间进一步对比的数据，包括彩色电子显微图可在“采用 UV YAG 激光器进行高质量微孔成形的技术”

（High Quality Microvia Formation with Imaged UV YAG Lasers）中打到，其是 2000 年 4 月 6 日在美国 California 州 San Diego 市举办的 IPC 印刷电路展上技术论文的一部分。

显然，对于普通技术人员来说，在不脱离本发明原理的条件下本发明上述实施例的许多细节内容还会有许多变化。因此本发明的保护范围由权利要求书确定。

说明书附图

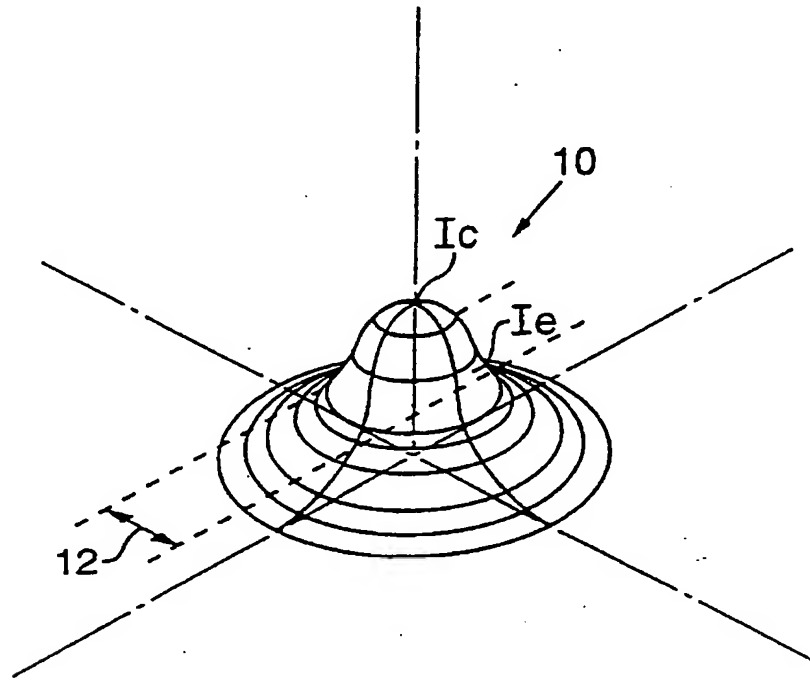


图 1

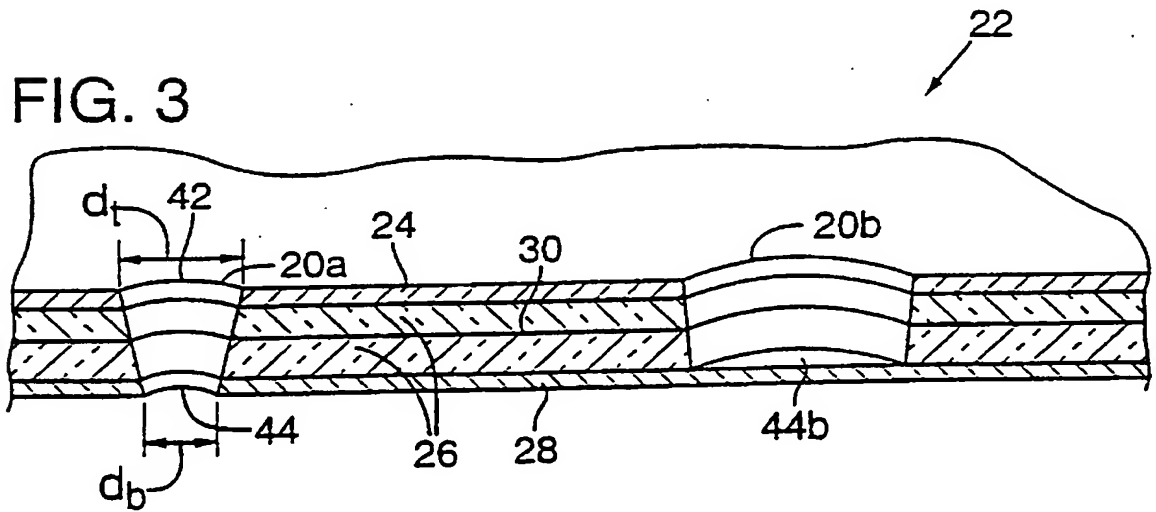


图 3

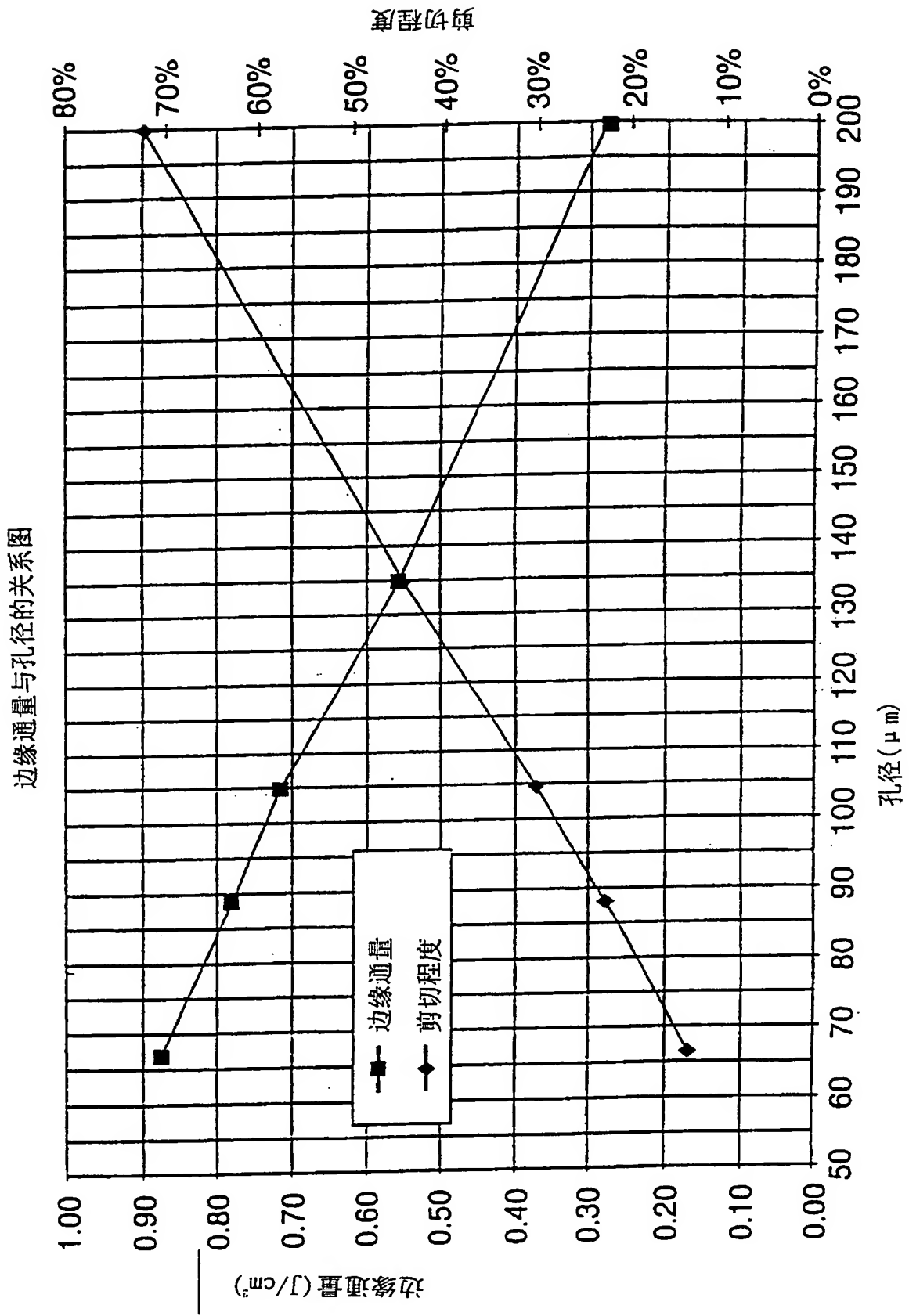


图 2

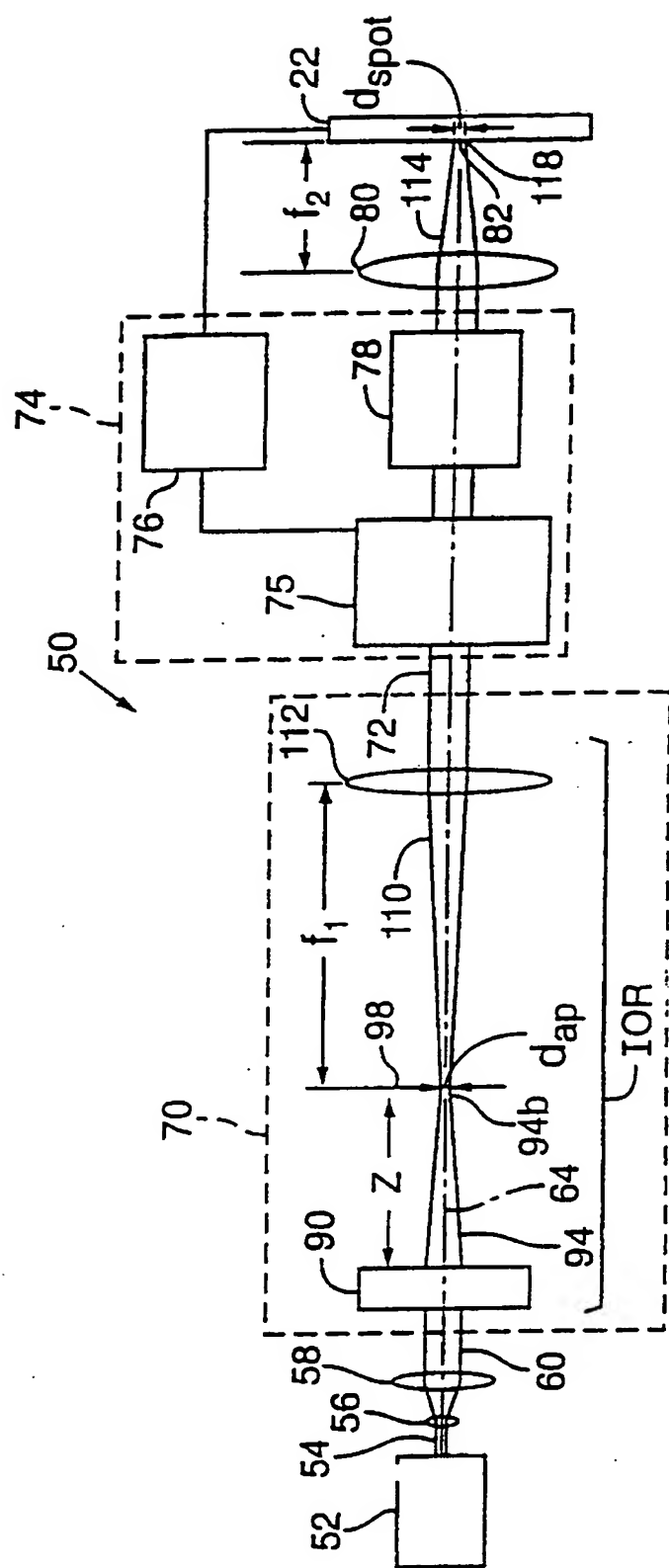


图 4

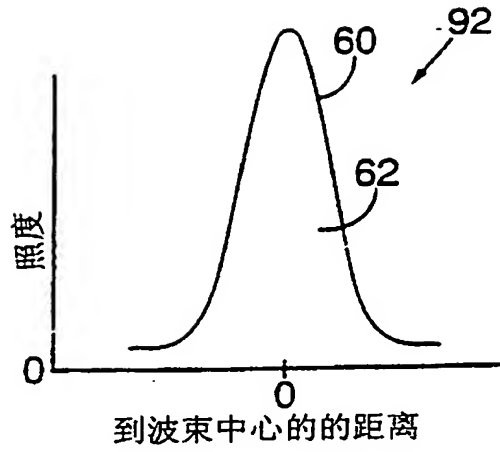


图 5A

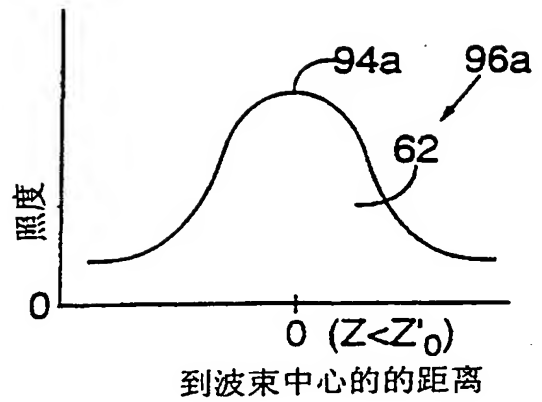


图 5Ba

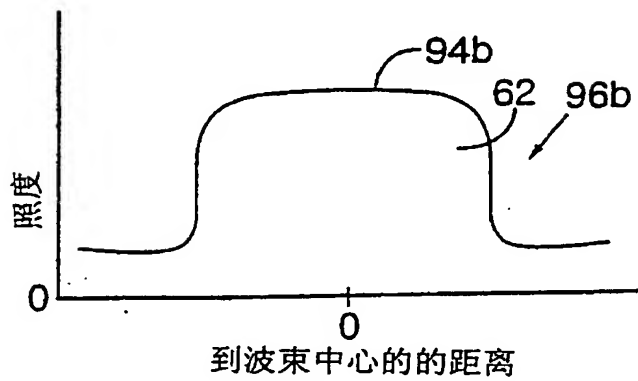


图 5Bb

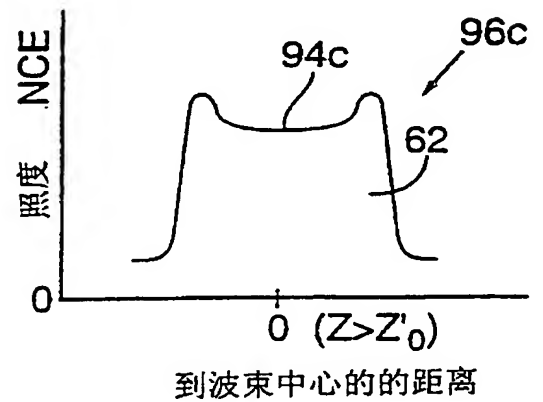


图 5Bc

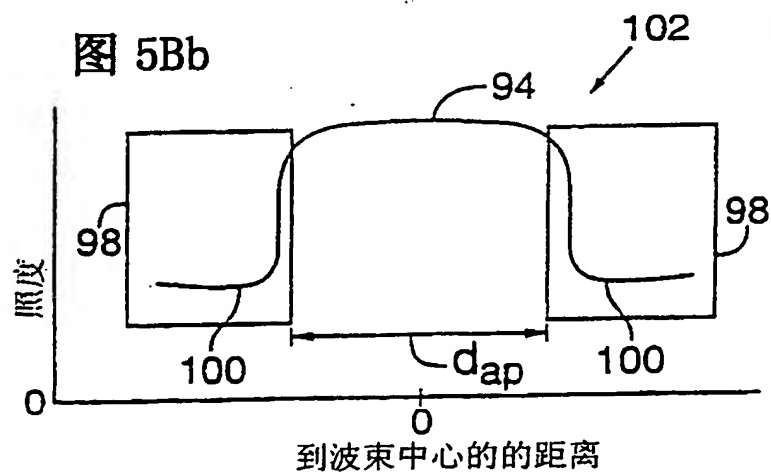


图 5C

图 6A

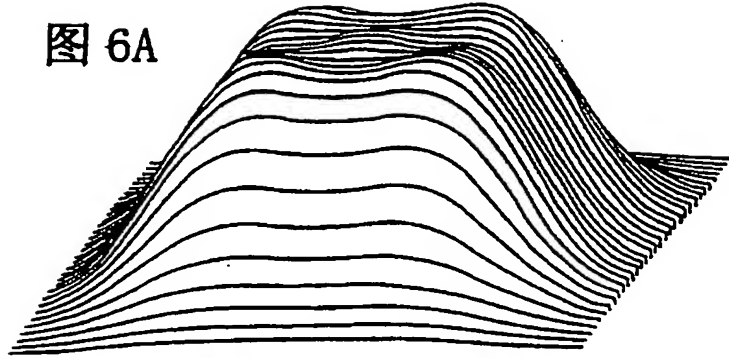


图 6B

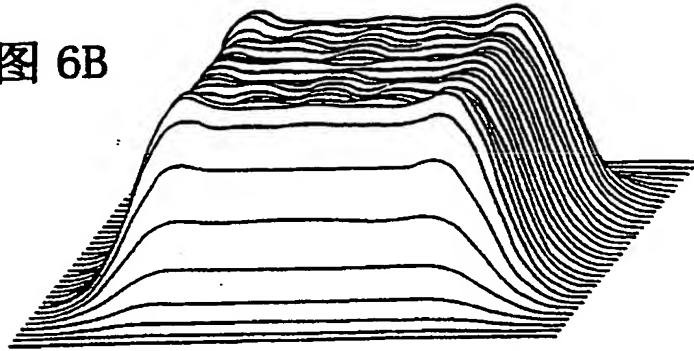


图 6C

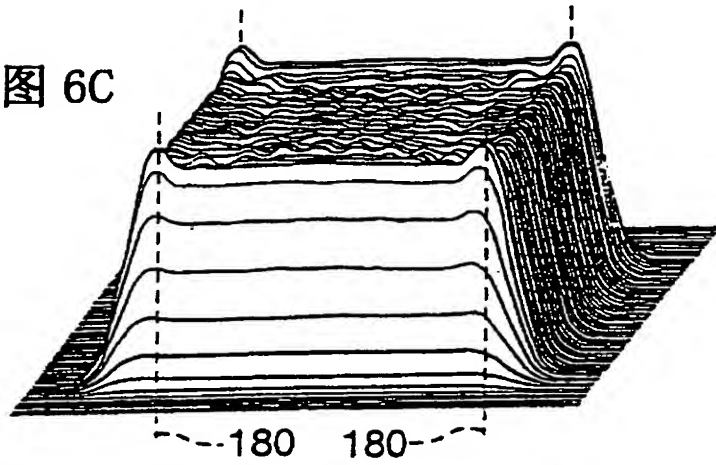


图 6D

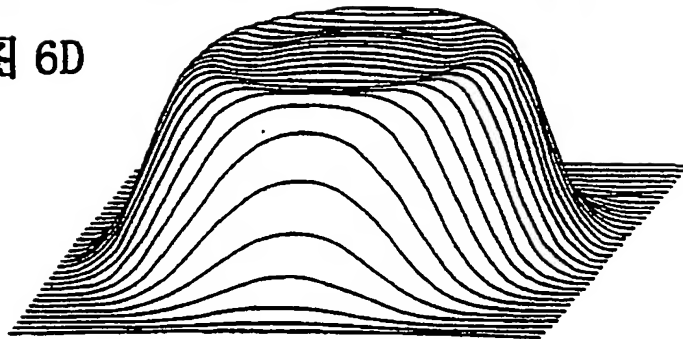


图 7A

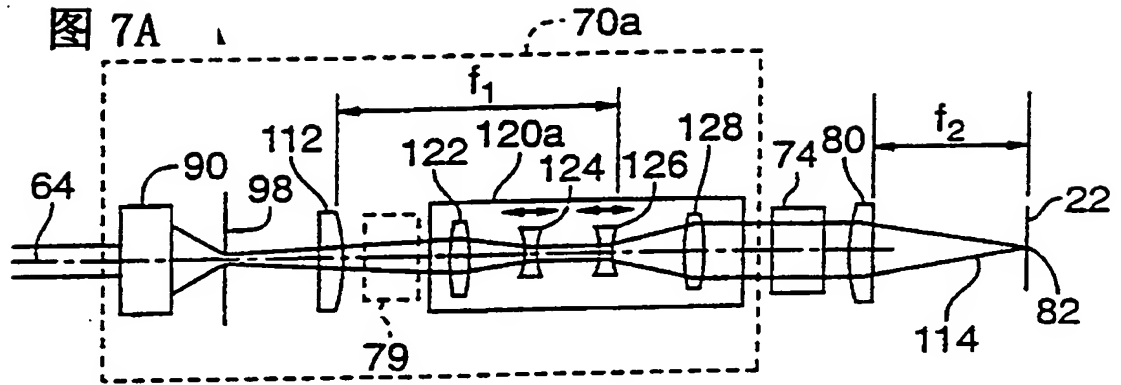


图 7B

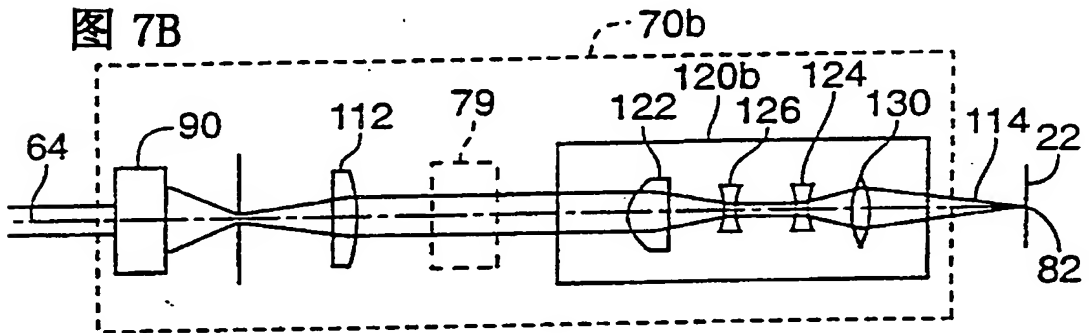


图 7C

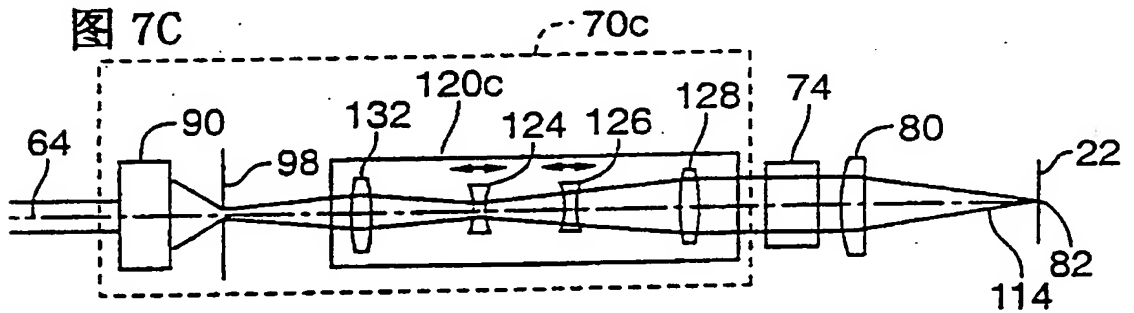
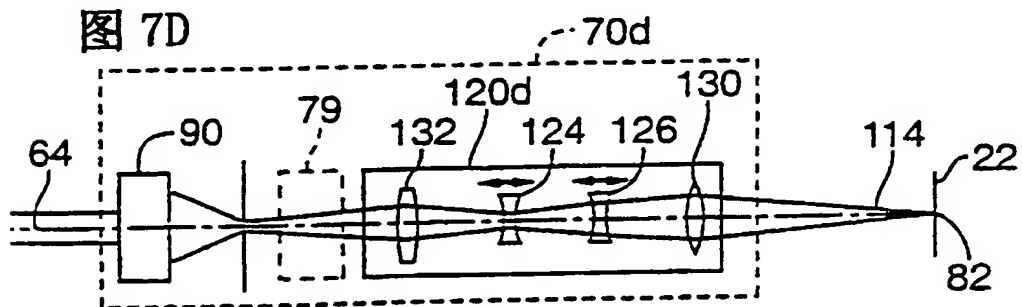
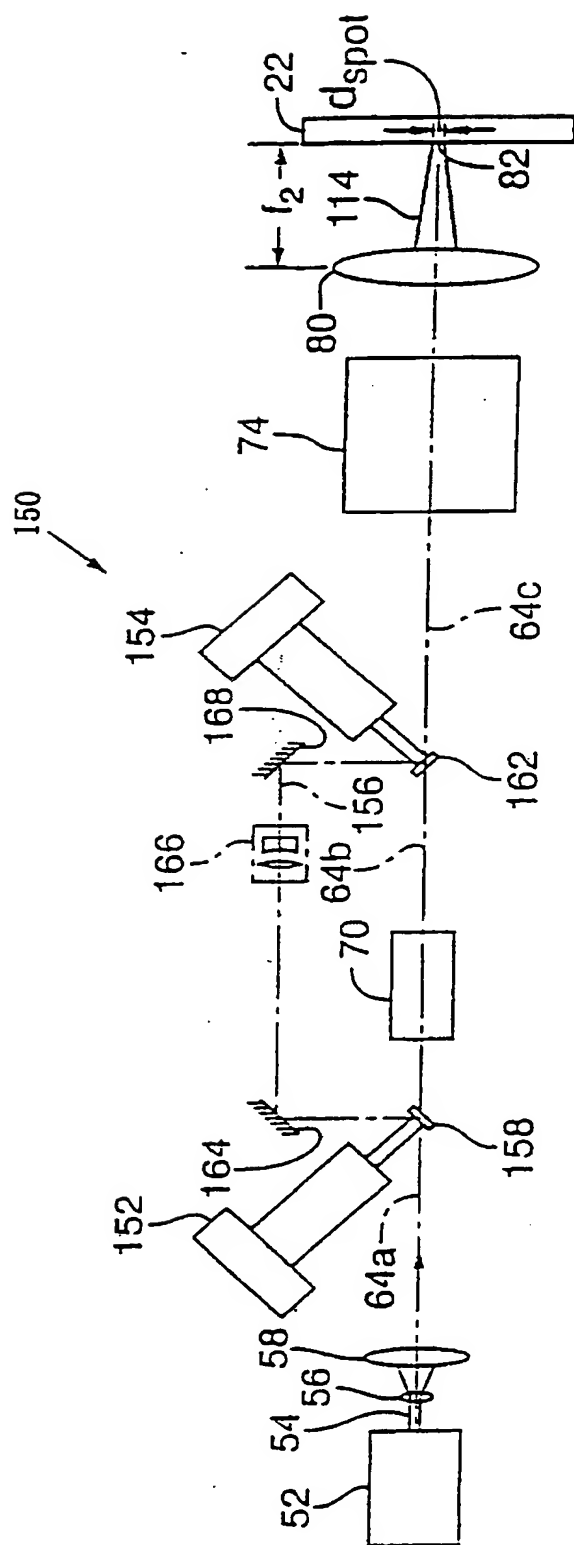


图 7D





8
8

激光: 1.72W@15KHz

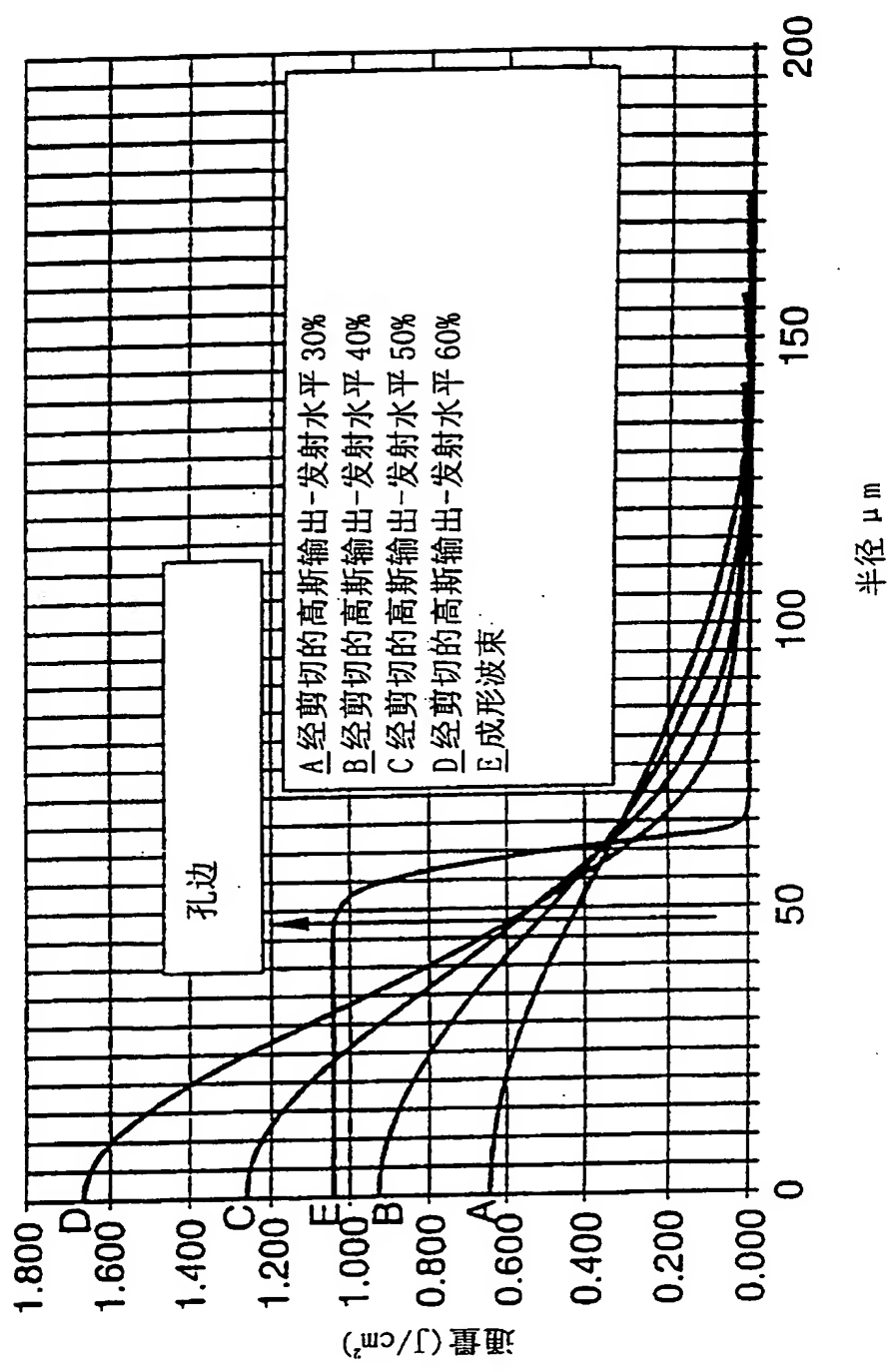


图 9

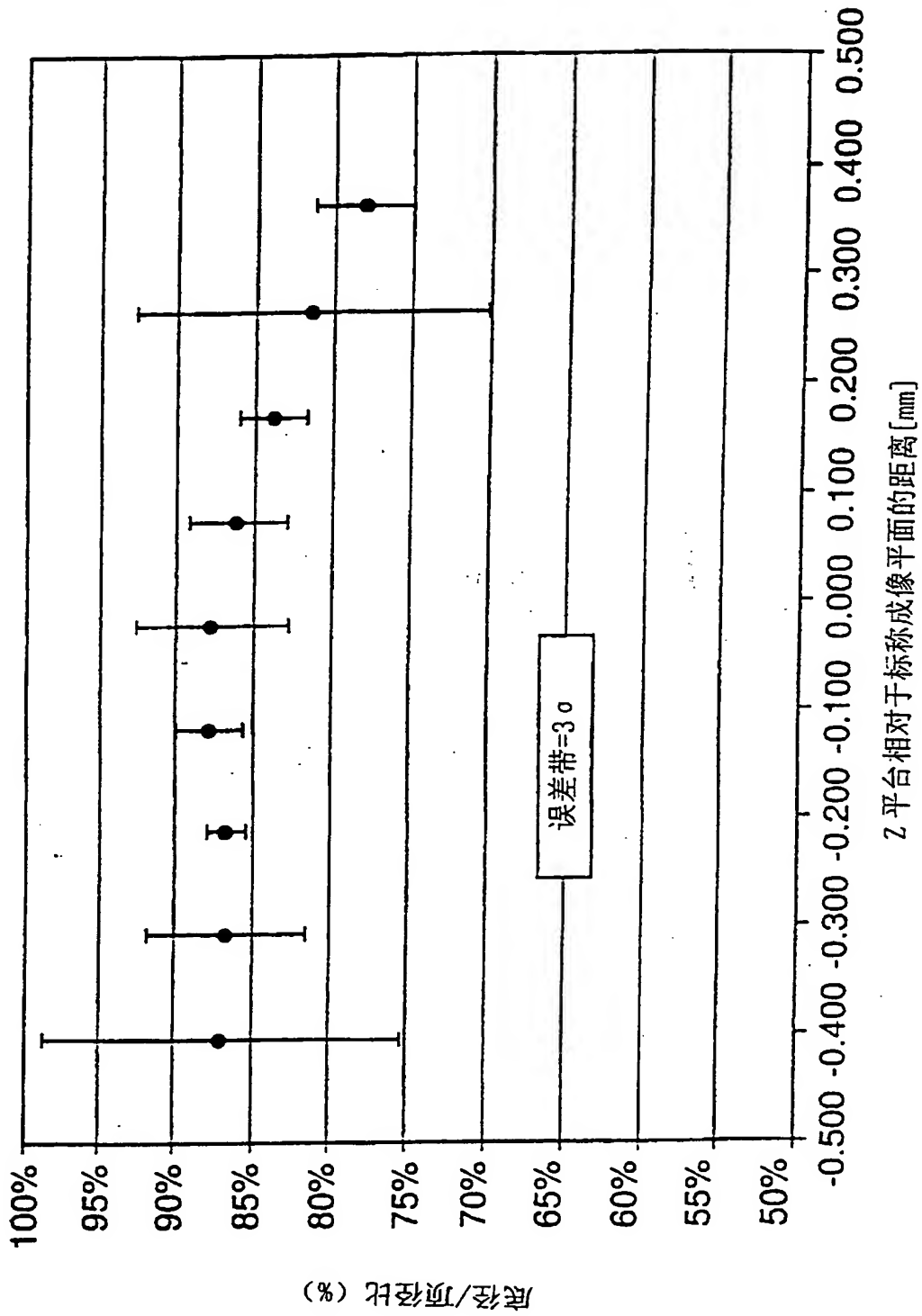


图 11

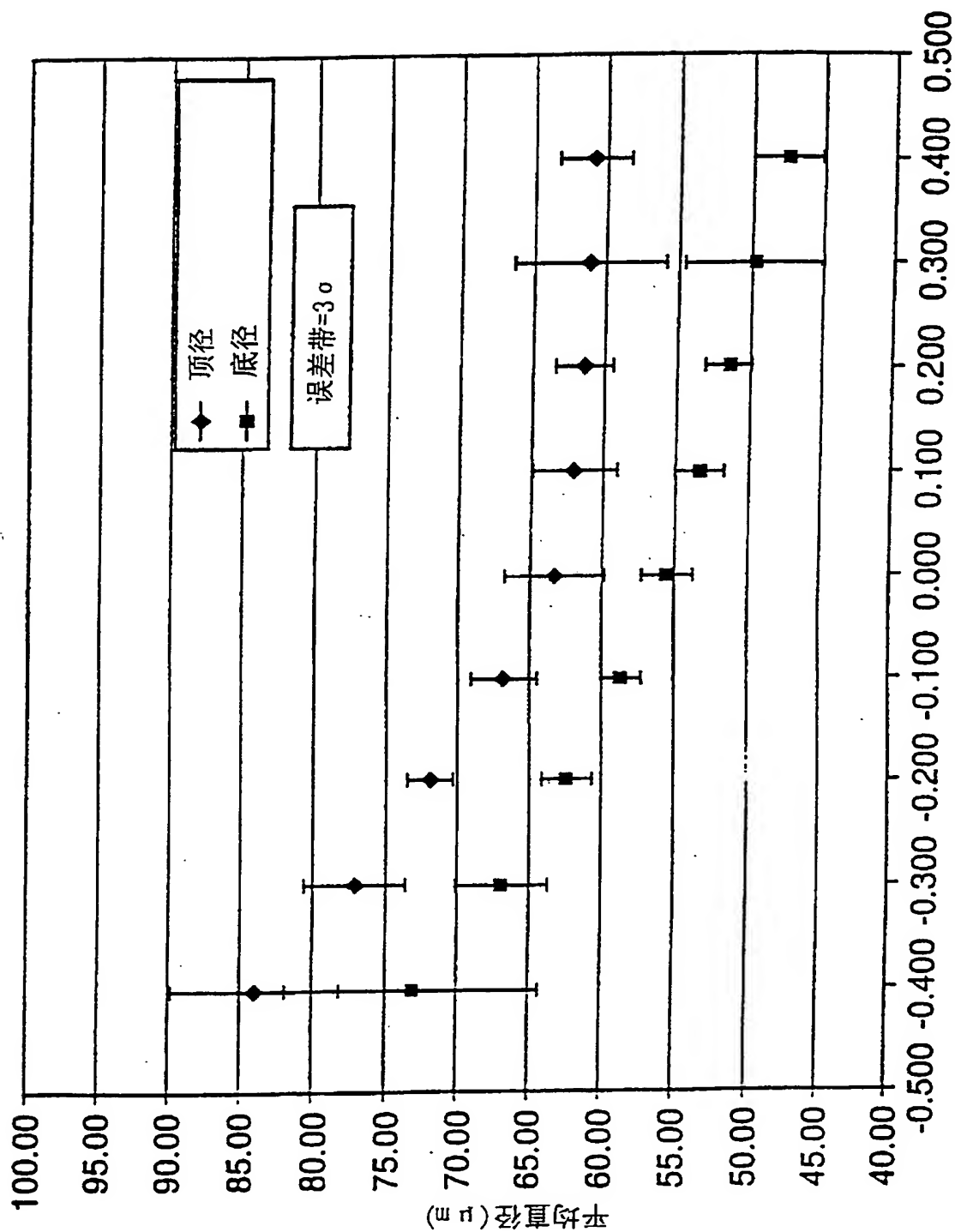


图 12 Z 平台相对于标称成像平面的距离 [mm]

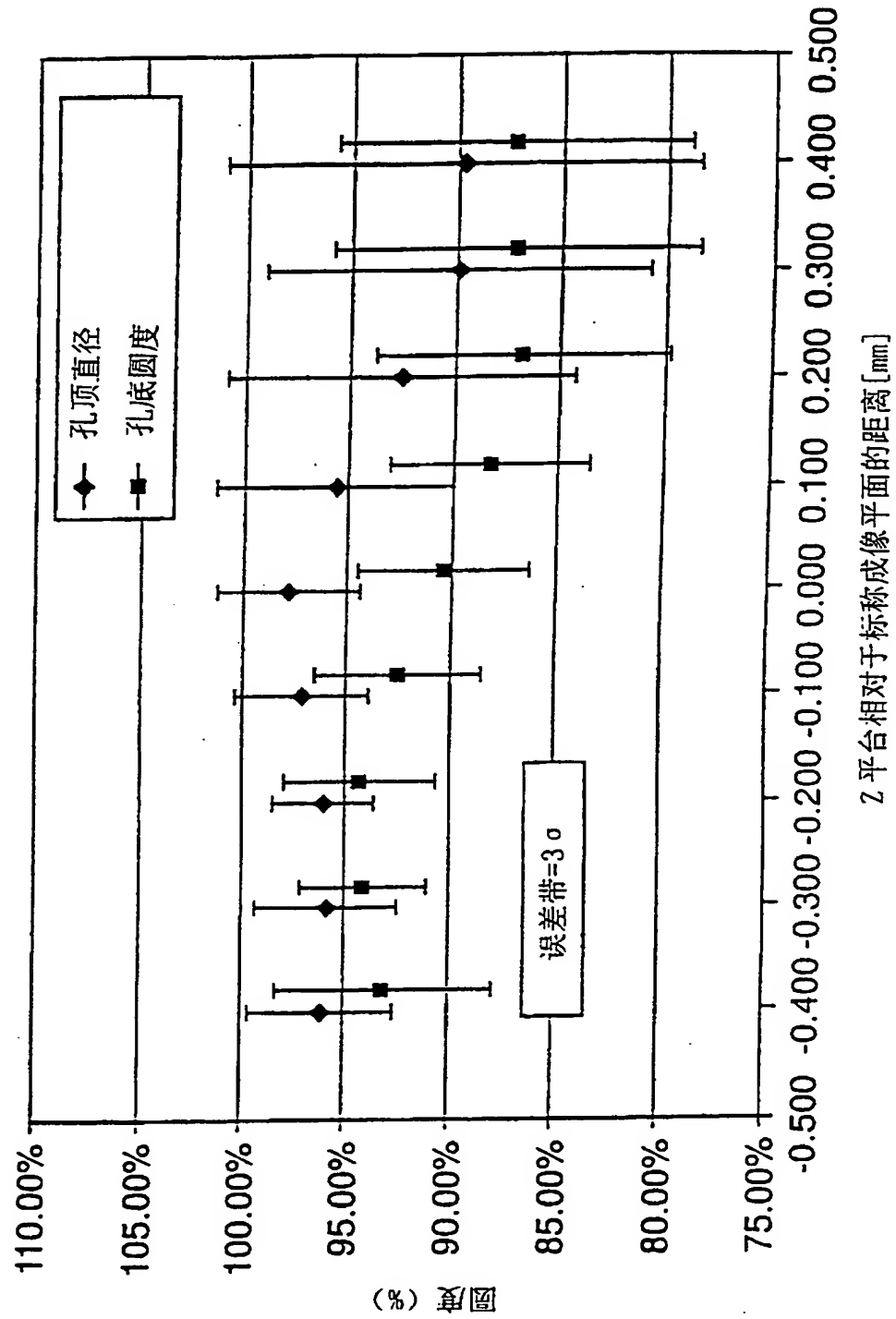
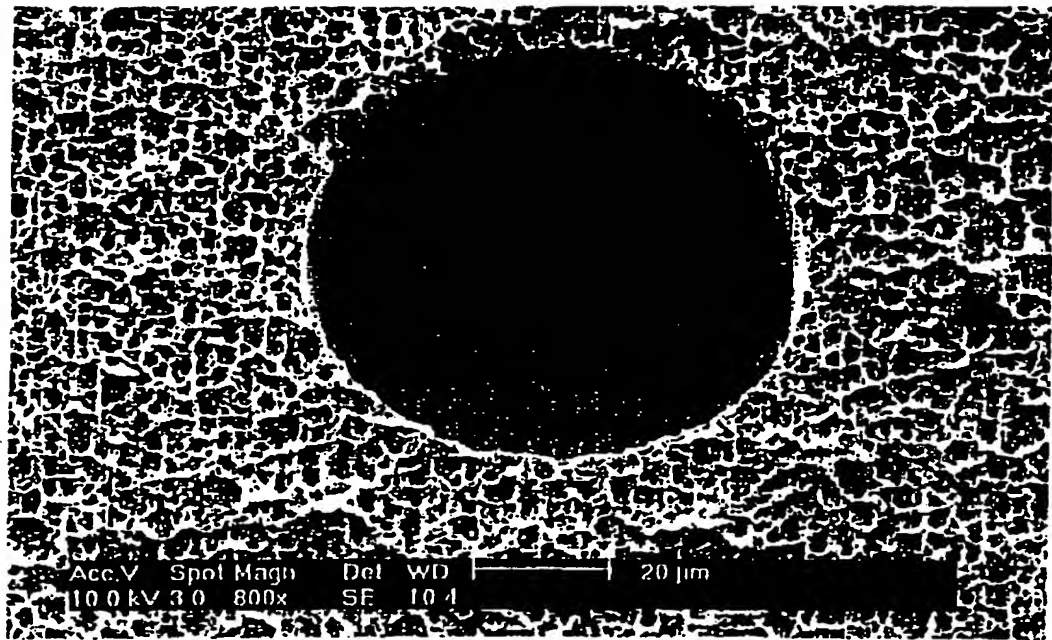
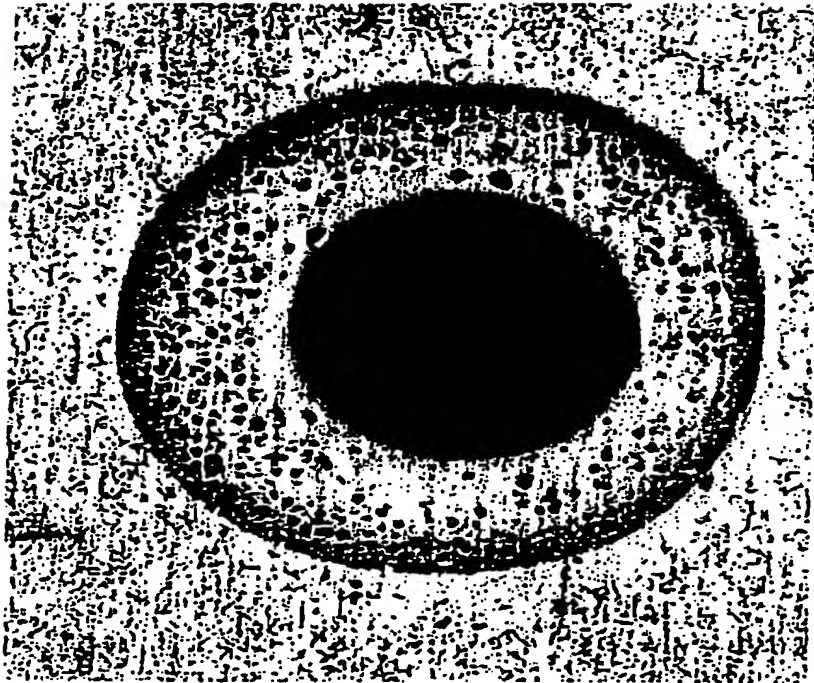


图 13



在 $45\mu\text{m}$ 厚的环氧树脂打 $75\mu\text{m}$ 的孔

图 14



在 $150\mu\text{m}$ 预先蚀刻的铜口内打取 $75\mu\text{m}$ 的孔

图 15